

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

## PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 13 MAY 2004

WIPO

PCT

### Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

10 2004 006 836.4

**Anmeldetag:**

12. Februar 2004

**Anmelder/Inhaber:**

Ruhrgas Aktiengesellschaft,  
45138 Essen/DE

**Bezeichnung:**

Vorrichtung und Verfahren zum optischen Abtasten  
von Medien, Objekten oder Flächen

**Priorität:**

15.04.2003 DE 103 17 428.1

**IPC:**

G 02 B, G 01 S

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. April 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident

Im Auftrag

Faust

5     **Vorrichtung und Verfahren zum optischen Abtasten von Medien, Objekten oder  
Flächen**

10     Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum optischen Abtasten von Medien, Objekten oder Flächen, mit einem Umlenkspiegel zum Umlenken von Lichtstrahlung, wobei der Umlenkspiegel mit einem Antrieb verbunden ist.

Derartige Vorrichtungen werden insbesondere zum Abtasten von Flächen verwendet, beispielsweise um diese zu kartieren.

15     Bei der Fernerkundung bzw. Fernortung von Gasen, insbesondere von Kohlenwasserstoffen wie Methan, in dem Luftraum bzw. der Atmosphäre über dem Boden wird Licht, das von dem Boden oder der Atmosphäre aufgrund Strahlungsemission oder aufgrund von Streuung bzw. Reflektion von Licht aus einer Lichtquelle ausgeht, analysiert. Dazu wird die Lichtstrahlung mit einem Teleskop auf  
20     einen Detektor fokussiert. Es kann sich um Lichtstrahlung im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Spektralbereich handeln.

Wenn eine hohe Empfindlichkeit erzielt werden soll und/oder die Lichtmengen, die von der Atmosphäre oder einer Fläche ausgestrahlt werden, relativ klein sind, müssen Teleskope bzw. Empfangssysteme mit großen optischen Aperturen eingesetzt werden, deren Durchmesser bis zu einigen 10 cm betragen kann.

Um eine Fläche schnell abtasten zu können, muss entweder das Empfangssystem entsprechend schnell bewegt oder das Gesichtsfeld des Teleskops mittels einer geeigneten Einrichtung kontinuierlich neu ausgerichtet werden.

5 Für Empfangssysteme bzw. Teleskope mit großen optischen Aperturen kommt die Bewegung des Empfangssystems oder des Teleskops aufgrund der Baugröße und der sich daraus ergebenden Antriebsprobleme nicht in Frage.

10 Bei Empfangssystemen mit kleinen optische Aperturen, d. h. mit Durchmessern kleiner als 1 cm, ist die Verwendung von Umlenkspiegeln zum Umlenken der Lichtstrahlung zwischen der Fläche oder einem Objekt und dem Empfangssystem bekannt. Die Umlenkspiegel werden z. B. mit Piezo-Elementen oder Galvo-Scannern angetrieben. Für Empfangssysteme mit größeren optischen Aperturen sind solche Antriebe nicht verfügbar oder zu aufwendig.

15 Weiterhin ist aus der Praxis ein Umlenkssystem mit zwei Umlenkspiegeln bekannt, wobei ein erster Umlenkspiegel den Lichtstrahl um 90° umlenkt. Mittels eines zweiten Umlenkspiegels, der den Lichtstrahl erneut umlenkt, kann eine Fläche relativ schnell abgetastet werden. Allerdings ist der Einsatz von zwei Umlenkspiegeln konstruktiv aufwendig und kostenintensiv.

20 Weiterhin ist ein kardanisch angetriebener Umlenkspiegel bekannt. Hier wird der Umlenkspiegel schnell um die kardanischen Achsen bewegt. Nachteilig sind die dabei auftretenden sehr hohen Beschleunigungen. Die schnelle Bewegungsumkehr sorgt für eine sehr hohe mechanische Belastung aller Komponenten und erfordert sehr leistungsstarke Antriebe für die Umlenkspiegel, um die notwendigen starken Beschleunigungen zu erzielen. Darüber hinaus werden durch die starken Beschleunigungen Vibrationen in das Messsystem eingebracht, die sich nachteilig  
25 auswirken können.

Die Aufgabe der Erfindung besteht demgemäss darin, eine konstruktiv einfache Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, mit der große Flächen schnell abgetastet werden können.

30 Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zum optischen Abtasten von Medien, Objekten oder Flächen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Erfindungsgemäß ist der Umlenkspiegel rotierbar ist, wobei die Spiegelnormale

gegenüber der Rotationsachse gekippt ist. Die Kippachse verläuft senkrecht zur Spiegelnormalen. Der Umlenkspiegel macht während der Rotation eine Taumelbewegung. Der Lichtstrahl beschreibt auf der Zielfläche eine Ellipse. Folglich kann die Abtastgeschwindigkeit groß sein. Da der Antrieb für die Rotationsbewegung  
5 keine großen Beschleunigungskräfte aufbringen muss, kann ein kostengünstiger Antrieb mit kleiner Leistung verwendet werden.

Vorzugsweise lenkt der Umlenkspiegel die Lichtstrahlung auf ein Empfangssystem, welches ein Teleskop und einen Detektor aufweist. Da Teleskope mit großer Apertur eingesetzt werden können, ist die Vorrichtung besonders als Bestandteil eines opti-  
10 schen Fernerkundungs- bzw. Fernortungssystems für Gase, insbesondere für Kohlenwasserstoffe wie Methan oder für Erdgas geeignet. Es ist für derartige Anwendungen vorteilhaft, wenn die Lichtstrahlung aus einer Laserlichtquelle stammt.

Im Rahmen der Erfindung kann die Lichtstrahlung auch Sonnenlicht sein. Es kann sich auch um die Lichtstrahlung handeln, z. B. Wärmestrahlung, die von Objekten oder Flächen emittiert wird.

Vorteilhafterweise ist die Vorrichtung als Bestandteil eines optischen Fernerkundungs- bzw. Fernortungssystems für Gase mit einer  
15 Navigationseinrichtung versehen und in einem Fluggerät installiert. Bei der Navigationseinrichtung kann es sich um ein bekanntes Global Positioning System (GPS) handeln.

Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, dass sich der Umlenkspiegel in einer gelagerten Fassung befindet.

20 Der Winkel zwischen der Spiegelnormalen und der Rotationsachse, d. h. der Kippwinkel ist im einfachsten Fall fest eingestellt. Es ist jedoch vorteilhaft, wenn der Winkel zwischen der Spiegelnormalen und der Rotationsachse verstellbar bzw. frei wählbar ist. Vorzugsweise wird für die Verstellung ein zweiter Antrieb eingesetzt, der vorzugsweise ansteuerbar ist.

25 Durch die Kippung der Spiegelnormalen gegen die Rotationsachse werden bei der Drehbewegung dynamische Unwuchtmomente erzeugt, die zu starken Vibrationen führen können. Daher schlägt die Erfindung vor, den Spiegel und die Fassung so zu

formen, dass die Rotationsachse identisch mit einer Hauptträgheitsachse des Umlenkspiegels zusammen mit der Fassung ist.

Abweichend davon wird im Rahmen der Erfindung vorgeschlagen, dass der Umlenkspiegel mit mindestens einem Ausgleichsmasse-Element derart versehen ist, dass  
5 die Hauptträgheitsachse des Umlenkspiegels zusammen mit dem Ausgleichsmasse-Element identisch mit der Rotationsachse ist. Die Position des Ausgleichsmasse-Elements in Bezug auf den Umlenkspiegel ist vorzugsweise verstellbar.

Eine bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenkspiegel um eine Achse senkrecht zur Rotationsachse kippbar ist und dass  
10 das Ausgleichsmasse-Element in Bezug auf den Umlenkspiegel um dieselbe Achse, vorzugsweise mit einem gemeinsamen Antrieb kippbar ist.

Vorzugsweise ist das Ausgleichsmasse-Element als Ring ausgebildet, der konzentrisch den Umlenkspiegel umgibt. Als Ring kann beispielsweise ein Metallring verwendet werden. Wenn die Rotationsachse identisch mit der Spiegelnormalen ist,  
15 befindet sich der Umlenkspiegel und der Ring in einer Ebene. Wenn der Umlenkspiegel um eine Achse senkrecht zur Spiegelnormalen gekippt wird, kippt der Ring um die gleiche Achse in entgegengesetzter Richtung. Bei entsprechender Auslegung des Metallringes sowie der Verstellung kann die dynamische Unwucht des verkippten Umlenkspiegels vollständig kompensiert werden. Die Kippachse wird  
20 vorzugsweise durch den Schwerpunkt des Spiegels samt Fassung gelegt, um statische Unwuchten zu vermeiden.

Zur Lösung der Aufgabe ist ein Verfahren zum optischen Abtasten von Medien, Objekten oder Flächen, mit einem Umlenkspiegel zum Umlenken von Lichtstrahlung, wobei der Umlenkspiegel mit einem Antrieb verbunden ist, dadurch gekennzeichnet,  
25 dass der Umlenkspiegel um eine Rotationsachse rotiert, wobei die Spiegelnormale gegenüber der Rotationsachse gekippt ist und wobei gleichzeitig der Umlenkspiegel über das Medium, das Objekt oder die Fläche geführt wird. Die Rotationsbewegung wird somit durch eine zweite Bewegung überlagert. Wenn eine Fläche, beispielsweise die Trasse einer Gasrohrleitung abgetastet werden soll, verläuft die  
30 zweite Bewegung im Wesentlichen parallel zu der Fläche.

Alternativ ist es möglich, dass der Umlenkspiegel um eine Rotationsachse rotiert, wobei die Spiegelnormale gegenüber der Rotationsachse gekippt ist und wobei

gleichzeitig der Kippwinkel kontinuierlich verändert wird. Der Umlenkspiegel rotiert gleichförmig und schnell, während die kontinuierliche Kippbewegung langsam erfolgt. Auf diese Weise werden auch für hohe Abtastgeschwindigkeiten nur relativ kleine Antriebe benötigt.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren kann besonders vorteilhaft in einem Überwachungsverfahren für erdverlegte Erdgasleitungen mittels eines Fluggerätes verwendet werden. Auf diese Weise können Lecks in einem Leitungsnetz durch Überfliegen der Trasse mit einem geeigneten Fluggerät, insbesondere einem Helikopter, schnell erkannt werden.

- 10 Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels erläutert.

Die Zeichnung zeigt in

Fig. 1 schematisch eine erfindungsgemäße Vorrichtung;

Fig. 2 die erfindungsgemäße Vorrichtung in einem Schnitt in Seitenansicht, wobei der Umlenkspiegel gekippt ist;

- 15 Fig. 3 die erfindungsgemäße Vorrichtung in Vorderansicht;

Fig. 4 die erfindungsgemäße Vorrichtung in einem Schnitt in Seitenansicht, wobei der Umlenkspiegel nicht gekippt ist.

- 20 Die in Fig. 1 bis 4 gezeigte Vorrichtung ist mit einem nicht dargestellten Navigationssystem verbunden und ist Bestandteil eines optischen Fernerkundungssystems für Kohlenwasserstoffe. Das Fernerkundungssystem ist in einem Helikopter installiert und wird zur Fernortung von Kohlenwasserstoffen in der Atmosphäre, insbesondere von Methan oder von Erdgas zur Detektion von Lecks in erdverlegten Erdgasleitungen verwendet. Von einer nicht dargestellten  
25 Laserlichtquelle wird ein Laserlichtstrahl ausgesendet, der sich auf der abzutastenden Fläche bzw. dem Boden verteilt. Der Helikopter fliegt mit einer Geschwindigkeit von ca. 80 bis 100 km/h über die Trasse der Erdgasleitung.

Im Wege des Laserlichtstrahls und des zurückgestreuten Lichts befindet sich ein rotierender Umlenkspiegel 1, der eben ausgebildet ist. Der Umlenkspiegel 1 ist um

5 eine Kippachse 3, die senkrecht zu der Spiegelnormalen 7 verläuft, mit Hilfe eines nicht dargestellten ansteuerbaren Antriebs gekippt. Da die Spiegelnormale 7 die Senkrechte zur Spiegelfläche ist, steht die Rotationsachse 5 somit in einem Winkel zur Spiegelnormalen 7. Fig. 4 ist zu entnehmen, dass sich der Umlenkspiegel 1 in einer gelagerten Fassung 8 befindet.

Der Umlenkspiegel 1 rotiert gleichförmig und relativ schnell um die Rotationsachse 5. Die Rotationsgeschwindigkeit beträgt beispielsweise 300 U/min. Der Winkel zwischen der Spiegelnormalen und der Rotationsachse ist frei wählbar und kann beispielsweise  $7^\circ$  betragen.

10 Die Lichtstrahlung 6 wird im Wesentlichen um  $90^\circ$  umgelenkt. Es wird sowohl die ausgesendete Lichtstrahlung als auch die zurückgestreute Lichtstrahlung umgelenkt. Durch Verstellung des Winkels zwischen der Spiegelnormalen und der Rotationsachse kann die Breite der abzutastenden Fläche an die Anforderung aufgrund der Topographie der Zielfläche eingestellt werden. Der Strahl beschreibt  
15 eine elliptische Spiralbahn. Durch die Überlagerung des Ab tastens mit der Flugbewegung liegen die Messpunkte auf einer Zykloiden.

Das von dem Boden bzw. der Atmosphäre zurückgestreute Licht wird mit einem Teleskop 9, das eine große optische Apertur aufweist, gesammelt und auf einen Detektor 10 fokussiert. Der Laserlichtstrahl wird coaxial zur Achse des Teleskops  
20 ausgesandt. Bei einer Leckage ist der Methangehalt in der Atmosphäre über dem Boden erhöht, da Erdgas hauptsächlich aus Methan besteht. Methan absorbiert bei bestimmten Wellenlängen das ausgesendete Licht, so dass durch Auswertung des zurückkehrenden Lichts die Konzentration des Methans in der Atmosphäre bestimmt werden kann.

25 Es müssen geeignete Maßnahmen getroffen werden, um Unwuchten bei der Rotation zu kompensieren. Daher ist der Umlenkspiegel 1 von einem Ausgleichsmasse-Element 2, das eine Hauptträgheitsachse 4 aufweist konzentrisch umgeben. Das Ausgleichsmasse-Element 2 ist als Metallring ausgebildet. Wenn die Rotationsachse 5 identisch mit der Spiegelnormalen 7 ist, befindet sich der  
30 Umlenkspiegel 1 und der Metallring 2 in einer Ebene. Wenn der Umlenkspiegel 1 um die Kippachse 3 senkrecht zur Spiegelnormalen gekippt wird, kippt der Metallring 2 um die gleiche Achse 3 in entgegengesetzter Richtung. Die Hauptträgheitsachse des Umlenkspiegels 1 entspricht der Spiegelnormalen 7, da der Umlenkspiegel 1

rotationssymmetrisch ist. Bei entsprechender Auslegung des Metallringes 2 sowie der Verstellung kann die dynamische Unwucht des verkippten Umlenkspiegels 1 vollständig kompensiert werden.

5 Im Rahmen der Erfindung kann der Umlenkspiegel 1 während der Rotation eine kontinuierliche Kippbewegung um eine Achse 3 senkrecht zur Spiegelnormalen 7 machen, so dass sich der Winkel zwischen der Rotationsachse 5 und der Spiegelnormalen 7 kontinuierlich ändert.

10 Die Vorrichtung kann im Rahmen der Erfindung ohne weiteres abgewandelt werden. So kann der Umlenkspiegel und die Fassung so geformt werden, dass die Rotationsachse 5 im Wesentlichen identisch mit einer Hauptträgheitsachse des Umlenkspiegels 1 zusammen mit der Fassung 8 ist.



### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum optischen Abtasten von Medien, Objekten oder Flächen, mit einem Umlenkspiegel (1) zum Umlenken von Lichtstrahlung (6), wobei der Umlenkspiegel mit einem Antrieb verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenkspiegel (1) rotierbar ist, wobei die Spiegelnormale (7) gegenüber der Rotationsachse (5) gekippt ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenkspiegel (1) die Lichtstrahlung auf ein Empfangssystem umlenkt, welches ein Teleskop (9) und einen Detektor (10) aufweist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlung aus einer Laserlichtquelle stammt.
4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlung Sonnenlicht ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtstrahlung von Objekten oder Flächen emittiert wird.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sich der Umlenkspiegel (1) in einer gelagerten Fassung (8) befindet.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Winkel zwischen der Rotationsachse (5) und der Spiegelnormale (7) verstellbar ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch einen zweiten Antrieb zur Verstellung des Winkels zwischen der Rotationsachse (5) und der Spiegelnormale (7).

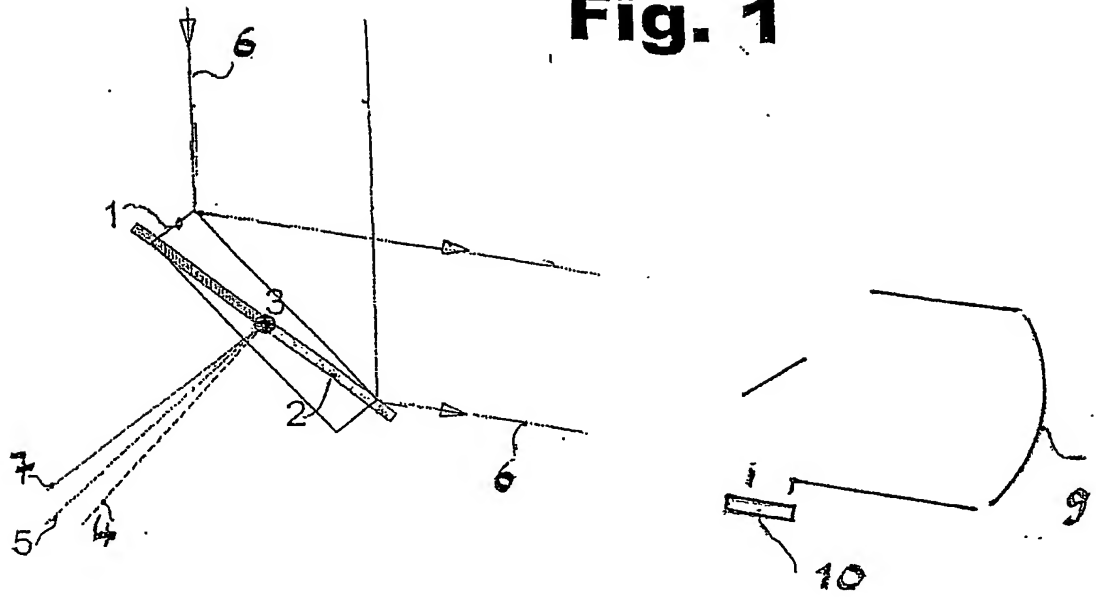
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
dass der Umlenkspiegel (1) und/oder die Fassung (8) so geformt sind, dass  
die Rotationsachse (5) identisch mit einer Hauptträgheitsachse des  
Umlenkspiegels (1) zusammen mit der Fassung (8) ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenkspiegel (1) mit mindestens einem  
Ausgleichsmasse-Element (2) versehen ist, so dass die Rotationsachse (5)  
identisch mit der Hauptträgheitsachse des Umlenkspiegels (1) zusammen mit  
der Fassung (8) ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Position des Ausgleichsmasse-Elements  
(2) in Bezug auf den Umlenkspiegel (1) verstellbar ist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenkspiegel (1) um eine Achse (3)  
senkrecht zur Rotationsachse (5) kippbar ist und dass das Ausgleichsmasse-  
Element (2) in Bezug auf den Umlenkspiegel (1) um dieselbe Achse (3),  
vorzugsweise mit einem gemeinsamen Antrieb kippbar ist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Ausgleichsmasse-Element (2) als Ring  
ausgebildet ist, der konzentrisch den Umlenkspiegel (1) umgibt.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13,  
dadurch gekennzeichnet, dass diese als Bestandteil eines optischen  
Fernerkundungssystems für Gase, insbesondere für Kohlenwasserstoffe  
ausgebildet ist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet, dass diese mit einer Navigationseinrichtung  
versehen und in einem Fluggerät installierbar ist.
16. Verfahren zum optischen Abtasten von Medien, Objekten oder Flächen, mit  
einem Umlenkspiegel zum Umlenken von Lichtstrahlung, wobei der  
Umlenkspiegel mit einem Antrieb verbunden ist, dadurch gekennzeichnet,

dass der Umlenkspiegel um eine Rotationsachse rotiert, wobei die Spiegelnormale gegenüber der Rotationsachse gekippt ist und wobei gleichzeitig der Umlenkspiegel über das Medium, das Objekt oder die Fläche geführt wird.

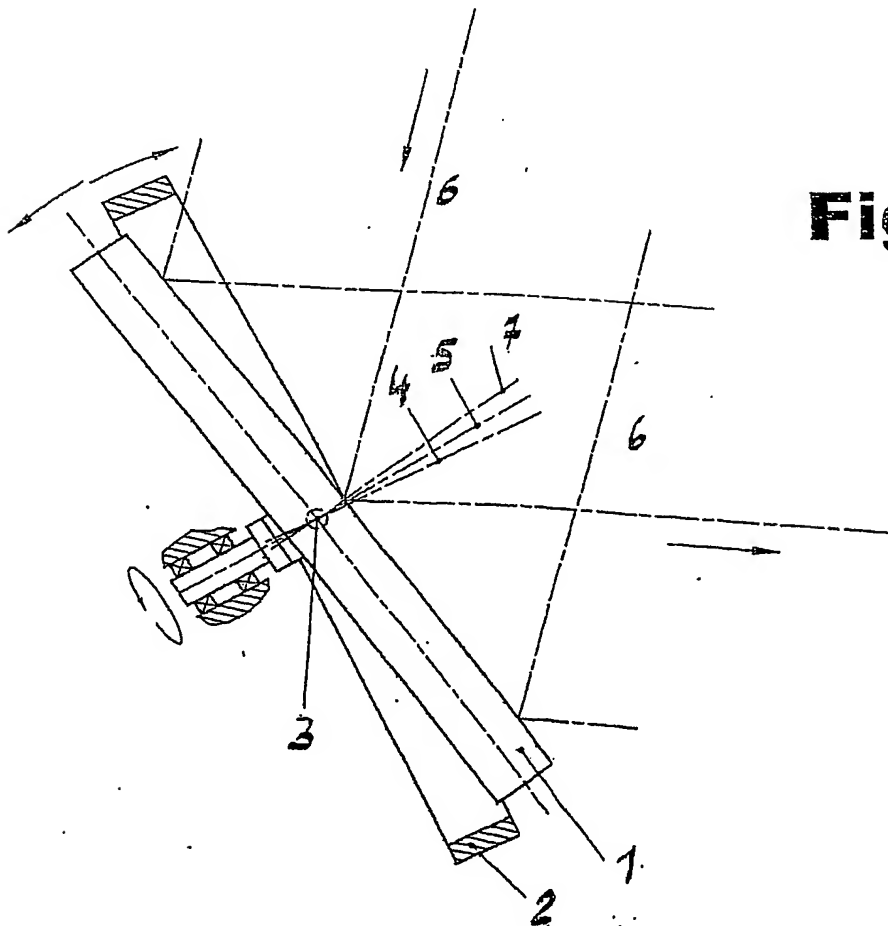
17. Verfahren zum optischen Abtasten von Medien oder Objekten, mit einem Umlenkspiegel zum Umlenken von Lichtstrahlung, wobei der Umlenkspiegel mit einem Antrieb verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass der Umlenkspiegel um eine Rotationsachse rotiert, wobei die Spiegelnormale gegenüber der Rotationsachse gekippt ist und wobei gleichzeitig der Kippwinkel kontinuierlich verändert wird.
18. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 16 oder 17 in einem Verfahren zur optischen Fernerkundung von Gasen, insbesondere von Kohlenwasserstoffen.
19. Verwendung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren in einem Überwachungsverfahren für erdverlegte Erdgasleitungen mittels eines Fluggerätes verwendet wird.

1/2

**Fig. 1**

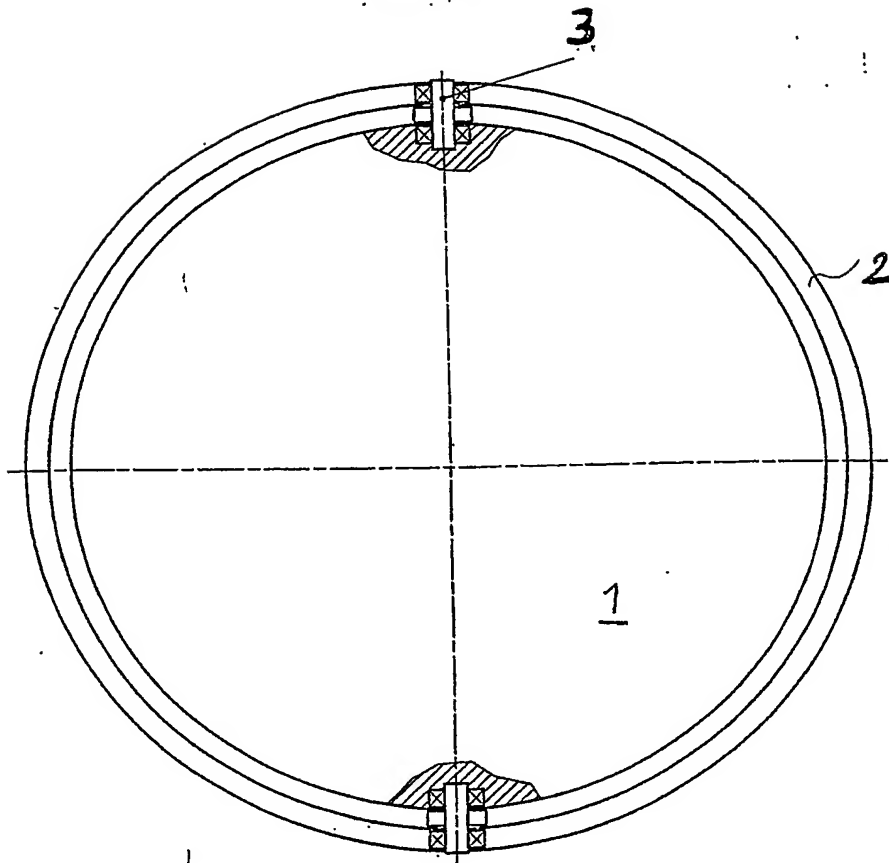


**Fig. 2**



2/2

**Fig.3**



**Fig.4**

